

Lena Moring

# Side- ja täyteaineiden vaikutus bitumikatto- maalin ominaisuuksiin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Opinnäytetyö

2.12.2013

Tekijä Otsikko	Lena Moring Side- ja täyteaineiden vaikutus bitumikattomaalin ominaisuuksiin
Sivumäärä Aika	38 sivua + 7 liitettä 2.12.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kemiantekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Prosessien suunnittelu ja käyttö
Ohjaajat	Lehtori Timo Laitinen Tutkija Jani Rutanen Tutkimuspäällikkö Leif Wirtanen
<p>Insinööritöön tilaajana toimi Tikkurila Oyj, joka on Suomen johtava maalialan yritys. Työn tavoitteena oli selvittää side- ja täyteaineiden vaikutusta bitumikattomaalin ominaisuuksiin. Työn tarkoituksena ei ollut löytää lopullista maalikaavaa, vaan tutkia miten maalin jatkokehityksessä olisi kannattavaa edetä sekä tutkia maalin vaikutusta bitumikatteen ominaisuuksiin. Työssä kokeiltiin myös uusia testimenetelmiä ja selvitettiin maalattavan alustan ominaisuuksia.</p> <p>Kirjallisuusosassa on keskitytty ulkomaalien ominaisuuksiin ja raaka-aineisiin. Työssä on kerrottu tarkemmin käytetyistä side- ja täyteaineista, niiden raaka-aineista, sovelluksista ja ominaisuuksista.</p> <p>Työhön valittiin yhdeksän eri maalikaavaa eli maalin raaka-ainekaavaa, joissa eroavaisuuksina olivat joko side- tai täyteaine. Kaavat valmistettiin käyttämällä viittä eri täyte- ja sideainetta tai niiden yhdistelmää. Sideaine pidettiin kaavassa samana, kun kaavan täyteainetta muutettiin tutkimustulosten tarkastelun helpottamiseksi. Vastaavasti täyteaine pidettiin samana, kun kaavan sideainetta tai niiden yhdistelmää vaihdettiin.</p> <p>Testeissä alustana toimivat Icopal Oy:n bitumikatetuotteet, joita tutkittiin maalattuina sekä muutamassa testissä maalaamattomina. Työhön valittiin yhteensä kahdeksan testimenetelmää. Kolme testiä mittaamaan märän maalin perusominaisuuksia ja viisi testiä, joilla testattiin applikoitua kuivaa maalipintaa sekä alustaa. Koekappaleita testattiin niin maali- kuin bitumistandardien mukaisesti tai niiden sovelluksina.</p> <p>Testimenetelmien avulla testimaalien välille saatiin merkittäviä eroja. Muutamat maalit erottuivat selkeästi heikompina. Toisaalta uusilla kaavoilla löydettiin myös muutamia potentiaalisia vaihtoehtoja, joilla maalin soveltuvuutta voitaisiin parantaa entistä toimivammaksi bitumikatoille.</p> <p>Työn tavoite saavutettiin kokoamalla uutta hyödyllistä tietoa side- ja täyteaineiden ominaisuuksista bitumikatemaalauksessa. Tutkimustulokset ovat käyttökelpoisia jatkokehityksen tukena.</p>	
Avainsanat	Maali, sideaine, täyteaine, bitumi, bitumikate

Author Title	Lena Moring Effect of binders and fillers on the properties of the bitumen roof paint
Number of Pages Date	38 pages + 7 appendices 2 December 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	Process Design and Operation
Instructors	Timo Laitinen, Lecturer Jani Rutanen, Research Chemist Leif Wirtanen, R & D Manager
<p>The thesis was commissioned by Tikkurila Oyj, which is Finland's leading decorative paint supplier. The objective of this thesis was to study how binders and fillers affect the properties of the bitumen roof paint. The idea was to gather material for the basis of further development, not to find the final paint formula.</p> <p>The literature part focuses on exterior painting and the raw materials and applications of exterior paints. It presents in more detail the binders and fillers which were studied during the thesis project.</p> <p>Nine different paint formulas were chosen for testing. The formulas differed from each other in either binder or filler. The paints were made using five different fillers and binders or their mixtures. When the binder was changed in the formula, the filler was kept the same to make the interpretation of results easier. Similarly, the binder was kept the same when the filler was changed.</p> <p>Icopal Oy's bitumen roof products were used as a test substrate for the paints. Eight measuring techniques were chosen for the study, three to measure the basic properties of the paint and five to measure dry film and the properties of the substrate. The test specimens were studied by using paint and bitumen standard tests or their applications.</p> <p>The test results showed that some of the paints were inferior in quality compared with the others. Also potential alternatives were found with the new formulas, which could improve properties of the paint for bitumen roofs.</p> <p>The thesis contains useful material about the properties of binders and fillers in bitumen roof paints. The results can be used as a support for the further development.</p>	
Keywords	Paint, binder, filler, bitumen, bitumen roof

# Sisällys

## Lyhenteet ja määritelmät

1	Johdanto	1
	Teoriaosa	2
2	Maalikemiaa	2
3	Työssä käytetyt raaka-aineet	3
3.1	Sideaineet	3
3.1.1	Akrylaatti	3
3.1.2	Styreeniakrylaatti	3
3.1.3	Alkydi	4
3.1.4	Polyuretaanidispersio	5
3.2	Täyteaineet	6
3.2.1	Kalsiumkarbonaatti	6
3.2.2	Wollastoniitti	6
3.2.3	Talkki	6
3.2.4	Mica	7
3.2.5	Lasipallot	7
3.3	Apuaineet	8
3.3.1	Paksuntajat ja tiksotroopit	8
3.3.2	pH:n säätöaine	8
3.3.3	Dispergointiaine	9
3.3.4	Vaahdonestoaine	9
3.3.5	Säilöntäaine	10
3.3.6	Apuliuotin	11
	Kokeellinen osa	12
4	Testialusta	12
5	Maalin valmistus	15
6	Koematriisi ja testausmenetelmät	16
6.1	Koematriisi	16
6.2	Nestemäisen maalin testit	17
6.3	Testimenetelmät alustalle ja applikoidulle maalille	18
6.3.1	Vetolujuus ja venymä huoneenlämpötilassa	18

6.3.2	UV-säteilyn kestävyys	20
6.3.3	Vedenläpäisevyys	21
6.3.4	Taivutettavuus	22
6.3.5	Hilaristikkokoe	23
7	Tulokset ja tulosten tarkastelua	25
7.1	Nestemäisen maalin testit	25
7.2	Vetolujuus ja venymä	26
7.3	UV-säteilyn kestävyys	27
7.4	Vedenläpäisevyys	31
7.5	Taivutettavuus	32
7.6	Hilaristikko	33
8	Huomioita	34
9	Yhteenveto ja johtopäätökset	35
	Lähteet	37
	Liitteet	
	Liite 1. Maalikaavat	
	Liite 2. Viskositeetti-, pH- ja ominaispainotulokset	
	Liite 3. Vetokokeen tulokset	
	Liite 4. Värimittauksen tulokset	
	Liite 5. Vedenläpäisevyyskokeen tulokset	
	Liite 6. Taivutettavuuskokeen tulokset	
	Liite 7. Hilaristikkokokeen tulokset	

## Lyhenteet ja määritelmät

### Agglomeraatti

Yhteenkiinnittyneiden partikkelien kasauma.

### Dispergointi

Maalin valmistuksessa tällä tarkoitetaan partikkelien, yleisesti pigmenttien ja täyteaineiden jauhamista eli agglomeraattien hajottamista.

### Dispersio

Dispergoimalla syntynyt hienojakoinen heterogeeninen seos.

### Flokkulaatti

Partikkelien kasauma, jossa partikkelien välillä on nestettä, kuten esimerkiksi sideainetta.

### Flokkulointi

Dispergoituneiden pigmenttien yhteen kasaantuminen.

### Hydrofobia

Kirjaimellisesti vesipelkoisuus, eli kemiassa tarkoitetaan aineen tai pinnan kykyä hylkiä vettä. Aine tai sen osa pyrkii minimoimaan rajapinta-alansa kun se on kosketuksissa veden kanssa.

### Kopolymeeri

Polymeeri, jossa on useampaa kuin yhtä monomeeriä.

### Läpilyönti

Liukeneva väriaine tai pigmentti vaeltaa pohjasta, jolloin maalikalvo värjäytyy tai tulee kirjavaksi.

### Maalikaava

Tässä työssä tarkoittaa maalille valmistettua raaka-ainekaavaa.

### Modifiointi

Tarkoittaa lisäaineiden käyttöä, joilla muokataan tai lisätään aineen ominaisuuksia.

### PVC

*Pigment volume concentration*. Pigmenttien ja/tai täyteaineiden ja/tai muiden kiinteäpartikkeleiden ei-kalvon muodostajien prosentuaalinen suhde haihtumattomaan maaliosaan.

### SBS-kumi

*Styreeni-butadieeni-styreeni -kumi*. Lisäaine, jolla parannetaan bitumin kylmäominaisuuksia ja joustavuutta.

Suspensio	Heterogeeninen seos, jossa pienet kiintoainehiukkaset on tasaisesti sekoittuneena nesteeseen.
$T_g$	<i>Glass transition temperature</i> . Lasittumislämpötila eli lämpötila, jolloin kiinteä amorfinen aine pehmenee kuumennettaessa ja jäähdyttäessä tuon lämpötilan alle aine muuttuu kovaksi ja hauraaksi.
UVA	<i>Ultraviolet A</i> . Ultravioletti-A-säteet eli valon pitkäaaltoiset UV-säteet, $\lambda=320\text{--}400\text{ nm}$ .
VOC	<i>Volatile organic compound</i> . Haihtuva orgaaninen yhdiste.

## 1 Johdanto

Työn tilaajana toimi Tikkurila Oyj, joka on Suomen johtava maalialan yritys ja toimii Suomen lisäksi muun muassa Ruotsissa, Venäjällä sekä Baltiassa. Tikkurila on toiminut jo yli 150 vuoden ajan Keravanjoen varressa Vantaan Tikkurilassa. Yritys aloitti toimintansa vuonna 1862 öljynpuristamona, ja vuonna 1919 aloitettiin maalien ja lakkojen tehdasmainen tuotanto. Tikkurila Oyj on osa Tikkurila-konsernia, joka sisältää 17 yhtiötä. Helsingin pörssiin se listautui vuonna 2010. Toimipisteitä Tikkurilalla on 16:ssa eri maassa. Näistä 16 maasta kahdeksassa toimii yhteensä 11 tuotantolaitosta. Vantaan toimipisteen toimintoihin kuuluvat kauppa-, rakennus- ja teollisuusmaalien tuotanto ja myynti, tutkimus ja tuotekehitys, asiakaskoulutus ja neuvonta sekä konsernin tukitoiminnot. Tikkurilan arvoihin kuuluvat luotettavuus, innovatiivisuus ja ammattimaisuus. [1]

Insinööriyön tavoitteena oli selvittää side- ja täyteaineiden vaikutusta bitumikattomaalin ominaisuuksiin. Nykyisen Tikkurila Oyj:n kattomaalituotteen käyttötarkoitus on yleisesti betonitiili-, kuitusementti- ja bitumikatteiden maalauksessa. Tiili- ja kuitusementtikatteille on kehitetty ja tuotu markkinoille oma tuote. Yrityksen tarkoituksena on kehittää myös bitumikatteille uusi tuote, joka soveltuu niin uusien kuin vanhojenkin bitumikattojen perus- ja huoltomaalaukseen. Kehitystyön lisäksi kokeiltiin myös uusia testimenetelmiä sekä selvitettiin maalattavan alustan ominaisuuksia.

Työn tarkoituksena ei ollut löytää lopullista maalikaavaa, vaan tutkia, miten maalin jatkokehityksessä kannattaisi edetä sekä tutkia tarkemmin, kuinka maali vaikuttaa bitumikatteeseen ja sen ominaisuuksiin. Kehitysprojektiin valittiin yhdeksän erilaista valmistettavaa maalikaavaa eli maalin raaka-ainekaavaa, joiden eroavaisuuksina olivat täyte- tai sideaine. Maaleihin valikoitiin viisi täyteainetta ja viisi sideainetta vertailtavaksi.

Työn kirjallisuusosassa on keskitytty ulkomaalaukseen ja ulkomaalien raaka-aineisiin. Työssä ei ole kirjoitettu kaikista side- ja täyteainevaihtoehdoista, vaan on kerrottu tarkemmin tässä työssä käytetyistä side- ja täyteaineista, niiden raaka-aineista, sovelluksista sekä ominaisuuksista. Työhön valittiin kolme testiä mittaamaan nestemäisen maalin perusominaisuuksia ja viisi testiä, joilla testattiin applikoitua kuivaa maalipintaa sekä alustaa. Näiden perusteella tehtiin johtopäätelmät jatkotutkimuksen tueksi.



## Teoriaosa

### 2 Maalikemiaa

Maalin raaka-aineet valitaan aina käyttökohteen ja sen vaatimien ominaisuuksien mukaan. Nykypäivänä raaka-ainevalinnoissa korostuvat paljon terveys- ja ympäristövaikutukset. Maali koostuu yleisesti viidestä komponentista:

- sideaineesta
- täyteaineesta
- pigmentistä
- ohenteesta
- apuaineista. [2]

Sideaine, josta voidaan käyttää myös termiä kalvonmuodostaja, muodostaa maalin pinnalle kalvon sekä tartuntapinnan maalin ja maalattavan alustan välille. Sen tehtävänä on myös pitää yhdessä maalin haihtumattomat yhdisteet, pääosin pigmentit ja täyteaineet. Sideaineen valinnalla ja määrällä pystytään vaikuttamaan kuivan maalikalvon ominaisuuksiin, kuten kestävyys- ja soveltuvuuteen erilaisille alustoille. [2; 3 s. 20]

Täyteaineet ja pigmentit ovat veteen liukenemattomia jauhemaisia aineita, jotka antavat maalille halutun värin ja peittävyys. Täyteaineet kasvattavat maalin tilavuutta, parantavat mekaanisia ominaisuuksia ja/tai vaikuttavat magneettisiin ominaisuuksiin. Pigmenttejä käytetään väriaineena, maalin korroosionestokyvyn ja/tai magneettisten ominaisuuksien takia sekä parantamaan UV-säteilyn kestävyttä. [2; 3 s. 111]

Ohenteella säädetään maalin juoksevuutta eli maalattavuutta. Ohenne on neste tai nestesekoitus, joka on haihtuva tietyissä olosuhteissa ja johon sideaine on liukoinen. Ohenteena voidaan käyttää vettä, orgaanisia liuottimia tai molempia. Nykyisin yhä useammassa maalissa käytetään vettä, koska näin syntyy vähemmän VOC:ja eli haihtuvia orgaanisia yhdisteitä ja terveys- sekä ympäristöhaitallisuus pienenevät. [2; 3 s. 95]

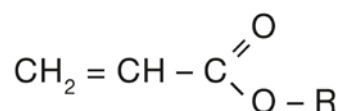
Apuaineilla voidaan vaikuttaa ominaisuuksiin, joita voi esiintyä niin valmistus-, varastointi-, käyttö- kuin kuivumisvaiheessa. Esimerkkejä näistä ovat maalin juoksevuus, vaahtoaminen ja kuivumisnopeus. Muihin maalin raaka-aineisiin verrattuna apuaineita lisätään yleensä useampia, kun taas määrällisesti verrattuna vähän. [2; 3 s. 162]

### 3 Työssä käytetyt raaka-aineet

#### 3.1 Sideaineet

##### 3.1.1 Akrylaatti

Akrylaattisideaineiden suurimmat käyttökohteet ovat julkisivu-, sisäkatto- ja sisäseinämaaleissa [4 s. 41]. Pelkästään akrylaattimonomeereja (kuva 1) sisältävät sideaineet ovat tunnettuja hyvästä kemikaalien sietokyvystä sekä valokemiallisesta kestästä. Näiden ansiosta maalin säänkestävyys on poikkeuksellisen hyvä. [3 s. 67–70]

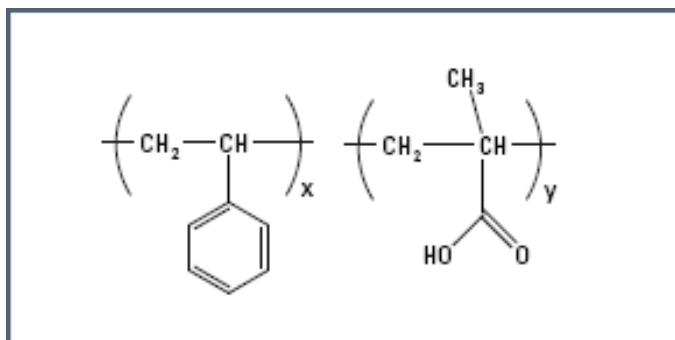


Kuva 1. Akrylaattimonomeeri. [3 s. 67]

Akrylaattia voidaan käyttää niin kutsuttuna dispersiona eli emulsiopolymeerinä, jossa akrylaattipartikkelit ovat tasaisesti sekoittuneena vesifaasiin. Kiintoainepitoisuuden muutoksella voidaan saada aikaan haluttuja ominaisuuksia käyttökohteen mukaan. Akrylaattipohjaiset sideaineet ovat hintavampia verrattuna useihin muihin sideaineisiin. [3 s. 67–70]

##### 3.1.2 Styreeniakrylaatti

Usein akrylaatti kopolymerisoidaan eli yhdistetään toisen monomeerin kanssa. Styreeni on huomattavasti halvempaa kuin akrylaatti, ja tämän takia se monesti kopolymerisoidaan styreenin kanssa (kuva 2). Näin saadaan styreeniakrylaattia, jolla on hyvä maalin pigmentin sidontakyky, hydrofobisuus ja emäksen kestävyys. Kellastumisen, halkeilun ja haurastumisen mahdollisuus taas kasvaa styreenin takia. Styreenin määrän kopolymerissä on tutkittu olevan suoraan suhteessa veden imeytymiseen ja elastisuuteen [4 s. 126]. [3 s. 68; 4 s. 36]

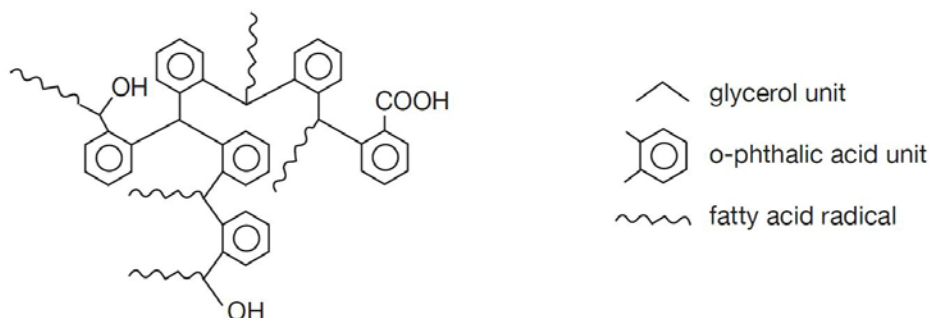


Kuva 2. Styreeniakrylaatti-kopolymeeri sisältää x määrän styreenimonomeereja ja y määrän akrylaattimonomeereja. [5]

Yhtälailla styreeniakrylaattia voidaan käyttää vesipohjaisessa dispersiossa kuten pelkkää akrylaattia. Ulkomaaleissa styreeniakrylaatti on syrjäyttänyt aikoinaan tavallisesti sideaineena käytetyn styreenibutadieenin. [3 s. 68; 4 s. 36]

### 3.1.3 Alkydi

Alkydit voidaan lyhyesti määrittää polyestereiksi, jotka ovat muokattu rasvahapoilla, rasvaöljyillä tai synteettisillä karboksyylihapoilla. Kuvassa 3 on kuvattu yksinkertainen alkydihartsin rakenne, joka sisältää öljyä sekä glyserolia ja ortoftaalihappoa. [3 s. 64]



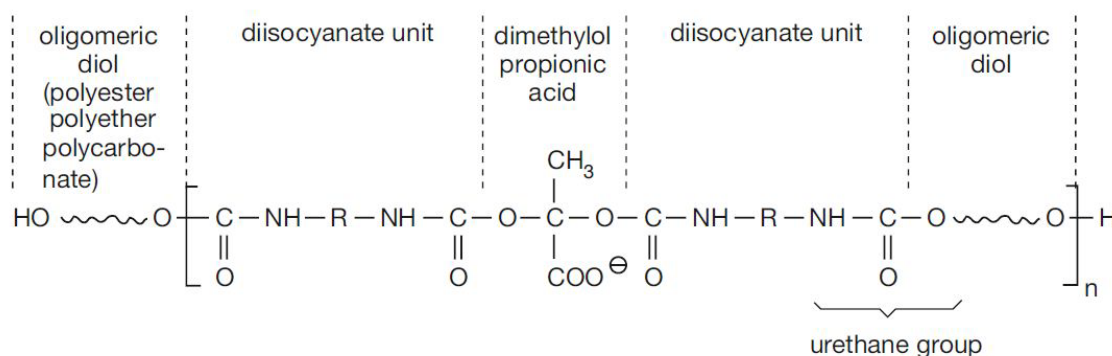
Kuva 3. Yksinkertaisen alkydihartsin rakenne. [3 s. 64]

Maalikemiassa alkydit voidaan luokitella vähä-, keski-, runsas- ja todella runsasöljyisiin alkydeihin. Runsasöljyiset alkydit ovat aina ilmakeiuvia, toisin kuin muut alkydit. Yhdenlaisena sovelluksena alkydiä voidaan käyttää muiden sideaineiden kanssa yhdistelmänä. Tämän tyyppisessä käytössä alkydi voidaan lisätä maaliin valmistusvaiheessa muiden raaka-aineiden joukkoon. [3 s. 65; 4 s. 43]

### 3.1.4 Polyuretaanidispersio

Polyuretaanidispersiot ovat melko uusia sideaineita, mutta laajasti käytettyjä vesiohenteisissa maaleissa. Polyuretaanidispersioiden hyviin ominaisuuksiin lukeutuvat vesiohenteisuus, korkea mekaanisen kulutuksen kesto, joustavuus, ulkoisten emulgaattorien puuttuminen sekä maalin kuivuminen fyysisesti eli huoneen lämpötilassa. Edellä mainitut ominaisuudet eivät kuitenkaan tule halvaksi, koska polyuretaanin hinta on melko korkea. Tämän takia sideaine on monesti yhdistetty seokseksi polyakrylaattidispersioiden tai muiden vesiohenteisten sideaineiden kanssa. [3 s. 87]

Kuvassa 4 on esitetty yksinkertaistetusti polyuretaanidispersioiden rakennetta. Runkorakenteesta voidaan havaita polymeeriketjussa olevat uretaaniryhmät. [3 s.87]



Kuva 4. Esimerkki anionisen polyuretaanidispersioiden kemiallisesta rakenteesta yksinkertaistetussa muodossa. [3 s. 87]

## 3.2 Täyteaineet

### 3.2.1 Kalsiumkarbonaatti

Kalsiumkarbonaatti ( $\text{CaCO}_3$ ) on terveydelle vaaraton mineraaliyhdiste, joka esiintyy kalkkikivenä, marmorina tai liituna. Usein kalkkikivikiteet ovat kalsiitin kidemuodossa, mutta ne voivat olla myös aragoniitin tai vateriitin muodossa. Täyteaineena se on maailmanlaajuisesti käytetty muun muassa korkean vaaleuden ja edullisuuden takia. Kalsiumkarbonaatilla on pienempi sideaineen tarve maalinvalmistuksessa kuin useilla muilla täyteaineilla, mikä alentaa raaka-ainekustannuksia. Yhdisteenä kalsiumkarbonaatin heikkous on, ettei se kestä pH:ta 6,5 tai alemmaa, jolloin se muuttuu kalsiumhydroksidiksi vapauttaen hiilidioksidia. [3 s. 158; 6 s. 89–91; 7 s. 66]

### 3.2.2 Wollastoniitti

Luonnossa kalkkikiven yhteydessä esiintyvä kalsiummetasilikaatti ( $\text{CaSiO}_3$ ) eli wollastoniitti on rakenteeltaan neulamainen ja terveydelle vaaraton mineraali. Wollastoniitti ei toimi ainoastaan täyteaineena, vaan parantaa myös pinnoitteen toimintakykyä. Sen hyviin ominaisuuksiin lukeutuvat maalipinnan halkeilun väheneminen ja hyvä hankauskestävyys, korkea pH, maalikalvon peittokyvyn parantaminen sekä korroosion estokyky. Näiden ansiosta myös kustannuksia saadaan pienennettyä, kun esimerkiksi apuainneiden tarve vähenee ja titaanidioksidin määrää voidaan maalikaavassa laskea. [8 s. 40–45]

### 3.2.3 Talkki

Talkki eli magnesium silikaattihydraatti ( $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$ ) on luonnossa esiintyvä siliikaattihydraatti, jonka joka toisen silikaattikerroksen välillä ovat kerrostuneet  $\text{Mg}^{2+}$ -ionit. Ne välit, joissa ei ole ioneita, pysyvät yhdessä van der Waals -voimien ansiosta. Liuskeinen rakenne takaa suuremman ominaispinta-alan kuin neulamaisilla mineraaleilla. [3 s. 159; 6 s. 97–100]

Täyteaineen liuskeisuus on yhdistetty korkeampaan öljyn absorptioon, mikä taas johtaa suurempaan sideaineen tarpeeseen. Öljyn absorboitumista voidaan pienentää poistamalla pienimmät partikkelit. Näin talkin määrää maalissa voidaan kasvattaa, mikä aut-

taa haihtuvien orgaanisten aineiden käyttötarpeen pienentämisessä. Runsaamman sideainetarpeen vaikutuksesta maalin PVC:tä eli pigmenttien ja/tai täyteaineiden ja/tai muiden kiinteäpartikkeleiden ei-kalvon muodostajien prosentuaalista suhdetta haihtumattomaan maaliosaan voidaan laskea saavuttaen sama peittokyky kuin normaalisti. Maalinvalmistuksessa talkkia käytetään usein yhdessä jonkun neulamaisen rakenteen omaavan täyteaineen kanssa, jolloin maalin korroosion estokyky paranee partikkelien pakkautuessa tiiviimmin. [3 s. 159; 6 s. 97–100]

### 3.2.4 Mica

Mica on kerrossilikaatti, jota esiintyy yleisimmin muskoviittina ( $\text{KAl}_2(\text{OH})_2/\text{AlSi}_3\text{O}_{10}$ ) ja biotiittina. Muihin kerrossilikaatteihin kuten talkkiin verrattuna mican tyyppejä on vähemmän, mutta sen selkeämpi liuskeinen rakenne taas on pinnoitteissa hyödyksi pintojen korjauksissa ja suojauksissa. Talkin kaltaisesti, mican liuskeisesta rakenteesta johdetaan sen korkeampi öljyn absorptio verrattuna neulamaisiin täyteaineisiin. Öljyn absorptio ei ole kuitenkaan yhtä korkea kuin esimerkiksi talkilla. [6 s. 33, 106–108]

Käytettäessä täyteaineena micaa, jolla on vaihteleva hienous, tuloksena on puolihimmeä pinta. Yhdistettäessä seulottua micaa ja jotain neulamaista täyteainetta partikkelit pakkautuvat tiiviimmin ja tasaisemmin vähentäen halkeilun riskiä sekä kasvattaen märkähankauskkestävyyttä. Mican hyviin ominaisuuksiin lukeutuvat hyvä adheesio, UV-säteilyn absorptio ja säänkestävyys. [6 s. 33, 106–108]

### 3.2.5 Lasipallot

Lasipallot ovat soodallasista valmistettuja 0,05–5 mm:n kokoisia onttoja tai umpinaisia kuulia käyttökohteesta riippuen. Ne ovat erittäin pyöreitä, tasaisia ja niiden kokoskaaloja löytyy paljon pieneltäkin kokoluokalta väliltä. Täyteaineena niiden hyviin puoliin lukeutuvat raaka-aineen puhtaus, alempi viskositeetti ja lämmönkestävyys. Lasipalloilla on myös pieni öljyn absorptio, mikä parantaa maalikalvon elastisuutta, koska side- ja apuaineita jää enemmän muihin toiminnallisuuksiin. Lasipalloja käytetään myös maalin jauhatuksessa helmimyllyissä, jolloin ne ovat kooltaan suurempia kuin täyteainekäytössä. [9; 10; 11]

### 3.3 Apuaineet

#### 3.3.1 Paksuntajat ja tiksotroopit

Maalin reologiset ominaisuudet ovat tärkeässä osassa, jotta paras mahdollinen tulos saavutetaan tuotanto-, kuljetus- ja applikointivaiheessa. Reologiset muuntajat voidaan jakaa karkeasti paksuntajiin ja tiksotrooppeihin. [3 s. 173]

Paksuntajat on suunniteltu estämään pigmenttien ja täyteaineiden erottuminen maalista kuljetuksen ja varastoinnin aikana. Maaleihin lisätään paksuntajia myös työstön takia, ettei maali esimerkiksi valu tai roisku applikoitaessa. Yleisesti käytettyjä paksuntajia ovat selluloosa-, heteropolysakkaridi-, polyakrylaatti-, polyeetteri polyoli- ja polyuretaanijohdannaiset. Vesiohenteisissa maaleissa paksuntaja toimii kasvattamalla maalin hydrodynaamista tilavuutta. Tämän takia niitä usein kutsutaan faasipaksuntajiksi. Paksuntajien kemiallisen rakenteen avulla niiden tehokkuus systeemissä voidaan laskea melko tarkasti. Laskemista helpottaa myös se, etteivät maalin muut aineet vaikuta paksuntajan toimintaan juurikaan. Paksuntaja voi myötävaikuttaa flokkulointiin, jos pigmentti tai sideaine ei ole dispergoitunut kunnolla. [3 s. 174]

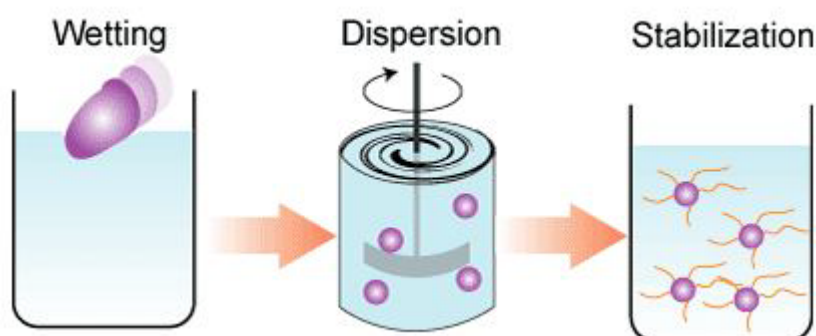
Tiksotroopit vaikuttavat viskositeettiin hetkellisesti ja niillä pyritään estämään valuminen pystypinnoille applikoitaessa. Maalin täytyy olla tarpeeksi juoksevaa työstettäessä, jotta maalipinnasta tulee tasainen. Ettei valumista tapahtuisi, viskositeetin täytyy olla mahdollisimman korkea. Eli tiksotrooppeja lisätään maaliin, jotta hyvä juoksevuus saadaan säilytettyä ilman valumista. [3 s. 175]

#### 3.3.2 pH:n säätöaine

Vesiohenteisiin seoksiin pH:n säätöaineita lisätään nostamaan, madaltamaan tai puskuroimaan pH:ta. Säätelemällä pH:ta pyritään pitämään pigmenttidispersio stabiilina, vähentämään korroosiota ja mikrobiologista kasvua sekä yleisesti optimoimaan purkittun ja levitettävän maalin ominaisuuksia. pH:n säätöaineen on liuettava vähintään osittain märästä maalipinnasta, kun maalissa käytetään sideaineena hartsia, Tällöin pH:n laskiessa tapahtuu kalvonmuodostuminen. pH:n säätöön käytetään paljon amiinialkoholeja, mutta toisiin seoksiin ammoniakki, trietyyliamiini tai dietanoliamiini sopivat paremmin. [12 s. 90]

### 3.3.3 Dispergointiaine

Kun pigmentit kastellaan mahdollisimman hyvin sideaineella maalin valmistuksessa, kutsutaan prosessia dispergoinniksi. Dispergointi on melko monimutkainen prosessi, joka voidaan jakaa karkeasti kolmeen osaan. Ensimmäinen osa pitää sisällään pigmentin perinpohjaisen kastelun. Toinen osa agglomeraattien hajottamisen eli dispergoinnin ja kolmas pigmenttidispersio stabiloimisen. Kuvassa 5 on esitetty dispergoinnin vaiheet. [3 s. 180]



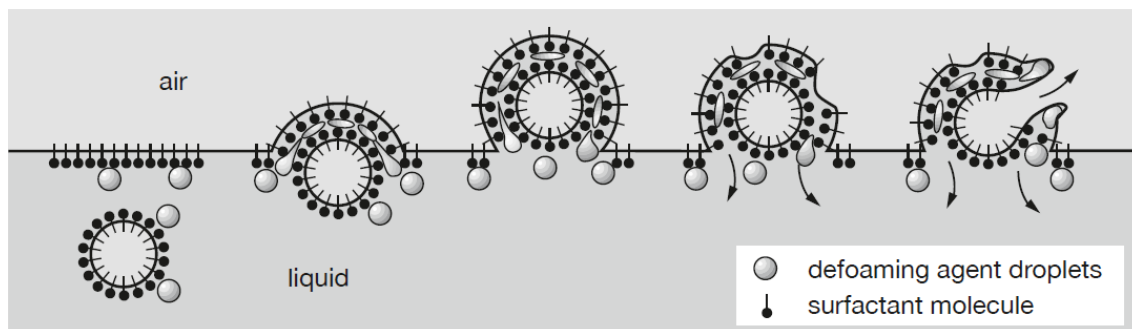
Kuva 5. Dispergointiprosessi. [13]

Kostutusvaiheessa partikkelien pinnalla oleva ilma ja vesi korvataan sideaineella. Pigmenttien kostuttamiseen voidaan käyttää kostutinainetta (englanniksi wetting agent), joka pienentää sideaineen ja pigmentin välistä pintajännitystä. Agglomeraattien hajottamisessa voi syntyä flokkulaatteja, jotka muistuttavat agglomeraatteja, mutta partikkelien välissä on nestettä, kuten esimerkiksi sideainetta. Dispergointiaineen tarkoituksena on stabiloida syntynyt pigmenttisuspensio flokkuloinnilta. Aine kiinnittyy pigmentin pintaan ja estää partikkeleita liikkumasta niin lähelle toisiaan, että van der Waals -voimat saisivat aikaan flokkulointia. [3 s. 180–181]

### 3.3.4 Vaahdonestoaine

Vaahdonestoaineella tarkoitetaan ainetta, joka vähentää tai poistaa vaahtoa. Vaahdolla tarkoitetaan kaasun ja nesteen dispersiota, jossa pienet ilmakuplat on sekoittuneena nesteeseen. Sitä voi esiintyä maalin valmistuksen useassa vaiheessa tai maalin levitysvaiheessa. Vaahdon synnyttyä, vaahdonestäjä rikkoo ilmakuplat aiheuttamalla virheitä kuplaan. Kuvassa 6 on esitetty vaahdonestoaineen toimintaa. [12 s. 59–60]





Kuva 6. Vaahdonestäjän toimintaperiaate. [3 s.164]

Vaahdonestoaine ei kuitenkaan pysty poistamaan kaikkea vaahtoa. Kun maalikalvo alkaa kuivua, rikkoontumattomat kuplat pyrkivät pintaa kohti. Ilmakuplat voivat joko rikkoontua saapuessaan pintaan ja aiheuttaa niin kutsuttuja neulanpääreikiä. Vaihtoehtoisesti ilmakuplat eivät puhkaise pintaa vaan aiheuttavat elastisen kalvon pinnan tuntumaa, mistä voi syntyä rakkuloita maalin kuivuttua. Vaahdonestäjä estää rikkoontumattomia ilmakuplia aiheuttamasta näitä virheitä kuivaan maalikalvoon. Vaahdonestäjän täytyy olla myös veteen liukenematon toimiakseen, muuten se voi aiheuttaa virheitä maalipintaan. [3 s.163–164; 12 s. 59–60]

### 3.3.5 Säilöntäaine

Vesiohenteiset maalit, joissa orgaaniset yhdisteet ovat hyvin dispergoituneet, tarjoavat ihanteellisen kasvualustan sienille, leville ja bakteereille. Mikrobiologisen kasvun takia purkitetussa maalissa voi ilmetä pilaantumista, joka voi esiintyä värjäytymisenä pinnalla, pH:n muutoksena tai epämiellyttävänä hajuna. Kun jäännösmonomeerien ja orgaanisen liuottimien määrä pienenee, mikrobien aiheuttama pilaantumisen riski kasvaa. Tämä voi tapahtua niin purkissa kuin applikoidussa maalipinnassakin. [3 s. 179]

Säilöntäaineita eli biosidejä lisätään ehkäisemään mikrobiologista kasvua tuotanto-, kuljetus- sekä varastointivaiheessa. Biosidejä voidaan kutsua myös bakterisideiksi, fungisideiksi tai algisideiksi riippuen mitä kasvustoa sillä tahdotaan estää. Periaatteessa kaikki nimitykset tarkoittavat samaa eli estävät ei-halutun kasvuston tai mikro-organismien kasvun. [3 s. 179; 12 s. 48]

Maalipintaa suojataan bakteereilta, leviltä, homeelta ja sammaleilta. Tällaisia kohteita ovat rakennuksien pinnat, jotka altistuvat kosteudelle pitkiksi ajanjaksoiksi. Näiltä biosi-

deiltä vaaditaan pitkäkestoista vaikutusta, ympäristöturvallisuutta sekä korkeaa veteen liukenemattomuutta. Ilman biosidejä maalipinnassa voi esiintyä pilaantumista levien tai sienien johdosta, vihreää tai harmaata värjäytymistä ja halkeilua. [3 s. 179–180]

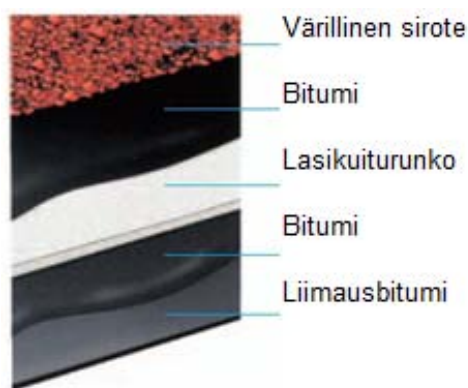
### 3.3.6 Apuliuotin

Vesiohenteiset maalit sisältävät apuliuotinta 0,1–15 %. Apuliuottimen avulla parannetaan maalin työstöominaisuuksia eli juoksevuutta, muokataan kuivumisominaisuuksia ja vähennetään vaahtoamista maalin levitysvaiheessa. Jotta paras mahdollinen liuotuskyky saavutetaan, apuliuottimen pitäisi haihtua suunnilleen samanaikaisesti veden kanssa kalvonmuodostuksen aikana. Tärkeimpiä apuliuottimia ovat glykolieetterit, kuten butyyliglykoli, propyleeniglykoli, texanoli, sekä alkoholit kuten butanoli ja propanoli. [3 s. 110]

## Kokeellinen osa

### 4 Testialusta

Tämän työn kokeellisessa osassa testeissä käytettävänä alustoina toimivat Icopal Oy:n LiimaUltra- ja Plano Natur -bitumikatetuotteet. LiimaUltra on tiivissaumakate, joka on valmistettu kumibitumiseoksesta sisältäen kumibitumilla kyllästetyn lasikuitupolyesterirungon ja tuote on tarkoitettu käytettäväksi loiville katoille. Jyrkille katoille tarkoitettut Plano-bitumikattolaatat on vahvistettu kumibitumilla kyllästetyllä lasikuiturungolla, kuten kuvassa 7 on havainnollistettu. Molempien tuotteiden yläpinta on päällystetty liuskeki-visirotteella. Pinnassa oleva sirote suojaa bitumia auringonvalolta ja vähentää melun kantautumista sisätiloihin. Testeissä käytettiin kahdella eri sirotteella, grafiitin mustalla ja tiilenpunaisella, olevia Plano-kattolaattoja. Työssä käytetyn LiimaUltran sirote oli myös grafiitin mustaa. [14; 15]



Kuva 7. Plano-kattolaatan rakenne. [16]

Bitumikatoista käytetään edelleen harhaanjohtavasti huopakattotermiä, vaikka katteissa ei enää käytetä raaka-aineena raakahuopaa vaan bitumia. Bitumi koostuu pääosin hiilivetyketjuista, noin 90 massaprosenttisesti. Taulukosta 1 nähdään loppukoostumuksen olevan hiilen lisäksi happea, typpeä ja rikkiä sisältäviä funktionaalisia ryhmiä ja rengasrakenteita sekä pieniä pitoisuuksia metallia kuten mangaania, vanadiinia sekä nikkeliä. [17 s. 44, 46]

Taulukko 1. Bitumin yksinkertaistettu koostumus. [17 s. 48]

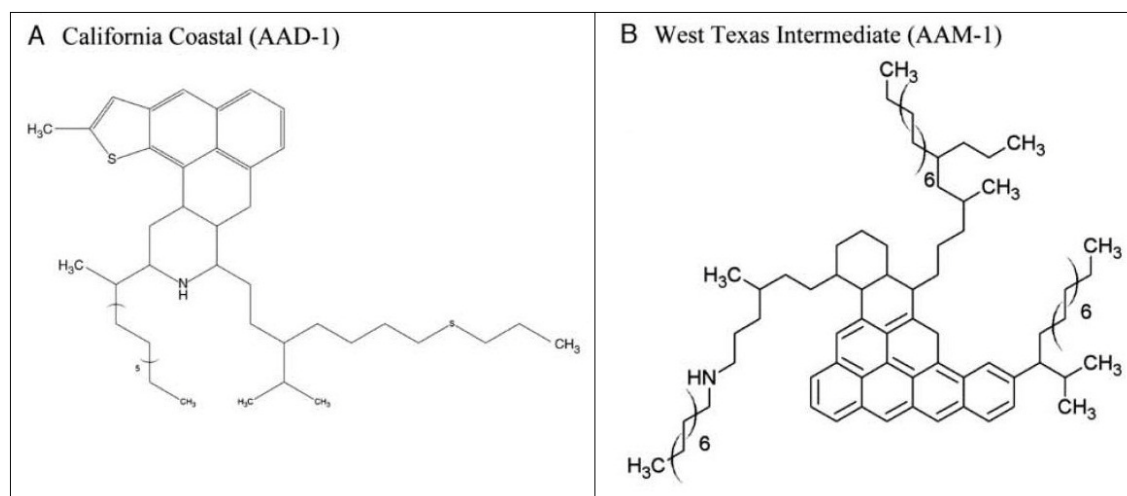
	C	H	O	N	S	Mn
Yksikkö	%	%	%	%	%	g/mol
Bitumi	80–88	8–12	0–2	0–2	0–9	600–1500

Tarkan koostumuksen määrittely on vaikeaa useiden yhdisteiden takia, joiden määrät riippuvat myös bitumin alkuperästä kuten taulukossa 2 on havainnollistettu.

Taulukko 2. Luonnonbitumien koostumusanalyysitulokset. [17 s. 46]

Origin		AAA-1 Canada	AAB-1 USA	AAC-1 Canada	AAD-1 USA	AAF-1 USA	AAG-1 USA	AAK-1 Venezuela	AAM-1 USA
C	wt. %	83.9	82.3	86.5	81.6	84.5	85.6	83.7	86.8
H	wt. %	10.0	10.6	11.3	10.8	10.4	10.5	10.2	11.2
H+C	wt. %	93.9	92.9	97.8	92.4	94.9	96.1	93.9	98.0
H/C	Molar	1.43	1.55	1.57	1.59	1.48	1.47	1.46	1.55
O	wt. %	0.6	0.8	0.9	0.9	1.1	1.1	0.8	0.5
N	wt. %	0.5	0.5	0.7	0.8	0.6	1.1	0.7	0.6
S	wt. %	5.5	4.7	1.9	6.9	3.4	1.3	6.4	1.2
V	ppm	174	220	146	310	87	37	1480	58
Ni	ppm	86	56	63	145	35	95	142	36
Mn	g/mol	790	840	870	700	840	710	860	1300

Kuvasta 8 nähdään kuinka bitumin yhdistemäärien muuttuessa myös rakenne muuttuu paljon, vaikka bitumi on peräisin samalta mantereelta.

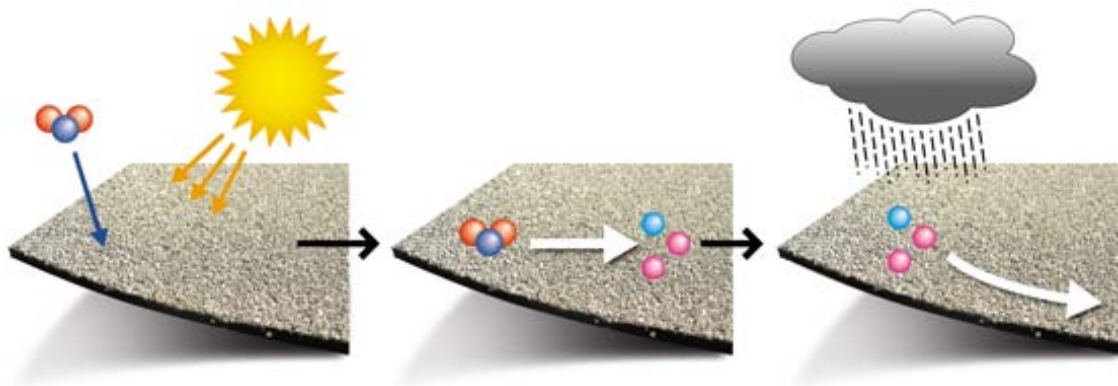


Kuva 8. Tavalliset molekyyliarakenteet kahdelle äärimmäisrakenteiselle bitumille, California Coastal ja West Texas Intermediate. [17 s. 47]

Eurooppalaisen määrittelyn mukaan bitumi on haihtumaton liima- ja vesieristemateriaali, jota syntyy raakaöljyn jalostuksen sivutuotteena tai löytyy luonnon asfalteista, joka on täysin tai lähes täysin tolueeniin liukeneva, todella suuriviskoosinen tai miltei kiinteä aine huoneenlämpötilassa. Raakaöljyn tyhjötislauksessa bitumia syntyy melko arvottomana pohjatuotteena. Tavallisesti bitumi modifioidaan vedeneristyskäyttöä varten

SBS-kumilla. Näin saadaan kumibitumia, jolla on parempi säänkestävyys, venyvyys ja taivutettavuus alhaisissa lämpötiloissa kuin tislattulla bitumilla. [17 s. 44, 46; 18]

Nykypäivänä ympäristönäkökohdat koskettavat kasvavassa määrin lähes jokaista teollisuuden alaa, ja tämä trendi on havaittavissa myös kattovalmistajien joukossa. Icopal on kehittänyt uudenlaisen Noxite-katteen, joka hajottaa liikenteen ja teollisuuden tuottamia typenoksideja. Kate puhdistaa ilmastä typenoksideja titaanidioksidin avulla. Titaanidioksidi toimii katalyyttinä ja aktivoituu auringon UV-säteilystä muuttaen typenoksidit pieneksi määräksi nitraattia, joka huuhtoutuu sadeveden mukana katolta, kuten kuvassa 9 on esitetty. [19]



Kuva 9. Noxite-katteen toiminta. [19]

Kate on myös väriltään vaalean harmaa, eikä näin ollen absorboi yhtä paljon lämpöä kuin tummat katot, mikä vähentää jäähdytyksen vaatimaa energiantarvetta. [19]

## 5 Maalin valmistus

Maalit valmistettiin yhdeksällä eri maalikaavalla, jotka nimettiin kirjaimilla A-I. Jokaisesta maalikaavasta valmistettiin noin yhden litran erät Tikkurilan laboratoriotiloissa Dispermat-laitteella. Sideaine pidettiin maalikaavassa samana, kun kaavan täyteainetta muutettiin tutkimustulosten tarkastelun helpottamiseksi, kuten taulukossa 3 on esitetty. Vastaavasti täyteaine pidettiin samana kun kaavan sideainetta tai niiden yhdistelmää vaihdettiin. Myös maalien PVC:t pyrittiin pitämään samansuuruisina.

Taulukko 3. Maalikaavoissa käytetyt side- ja täyteaineet.

Maalikaava	Sideaine	Täyteaine
A	Styreeniakrylaatti 1	Karbonaatti
B	Styreeniakrylaatti 2	Karbonaatti
C	Akrylaatti	Karbonaatti
D	Alkydi	Karbonaatti
E	Polyuretaanidispersio	Karbonaatti
F	Styreeniakrylaatti 1	Talkki
G	Styreeniakrylaatti 1	Wollastoniitti
H	Styreeniakrylaatti 1	Lasipallot
I	Styreeniakrylaatti 1	Mica

Tarkemmat maalikaavat ovat liitteessä 1. Maalien valmistusvaiheessa muutamia maalikaavoja jouduttiin hieman muuttamaan, tästä enemmän kappaleessa 8. Muuten maalit onnistuivat alkuperäisiä kaavoja käyttäen. Ensimmäisten testien, jotka esitellään kappaleessa 6, jälkeen pienet erät maalia sävytettiin valkoiseksi ja punaiseksi kuivan maalikalvon testausta varten.

## 6 Koematriisi ja testausmenetelmät

### 6.1 Koematriisi

Työssä valmistettuja maaleja varten valittiin kahdeksan testiä mittaamaan side- ja täyteaineiden vaikutusta maalin sekä maalattavan alustan ominaisuuksiin. Jokaiselle maalille suoritettiin samat testit. Nestemäiselle maalille valittiin kolme testiä, jotka kuvaavat määrän maalin ominaisuuksia. Applikoidulle maalille ja alustalle valittiin yhteensä viisi standarditestimenetelmää bitumikate- ja maalistandardeista, mitkä kertovat niin maalin ominaisuuksista että maalin vaikutuksesta alustaan. Nämä testit olivat vetolujuus ja venymä, UV-säteilyn kestävyys, vedenläpäisevyys, taivutettavuus ja hilaristikko. Maalin ominaisuuksista kertova vedenläpäisevyys valittiin myös yhdeksi applikoidun maalin testimenetelmäksi.

Kokeesta riippuen käytettiin eri sävyistä maalia ja erilaista alustaa. Taulukossa 4 on esitelty testikohtaisesti käytetty maalisävyt ja alustamateriaalit.

Taulukko 4. Testeissä käytetyt maalisävyt ja alustamateriaalit.

Testi	Maalisävy			Alustamateriaali ja sirotteen väri		
	Sävyttämätön, A-I	Valkoinen, A-I maalit	Punainen, A-I maalit	Plano, musta	Plano, punainen	LiimaUltra, musta
Viskositeetti, pH, ominaispaino	x					
Vetolujuus ja venymä			x			x
UV-säteilyn kestävyys		x	x	x	x	
Vedenläpäisevyys		x				
Taivutettavuus			x			x
Hilaristikko			x		x	

Taivuttavuuskokeeseen alustaksi valittiin LiimaUltra, koska sillä on paremmat kylmäominaisuudet kuin Plano Natur -kattolaatoilla. Myös vetolujuus- ja venymätestiin valittiin testialustaksi LiimaUltra, josta pitkät koekappaleet oli helppo leikata. Muissa testeissä alustana käytettiin Plano-kattolaattoja, koska ne ovat suosittuja kuluttajakäytössä. UV-säteilyn kestävyystestiin valittiin käytettäväksi molemmilla siroteilla, mustalla ja punaisella olevat kattolaatat, jotta sirotteen mahdollinen vaikutus havaittiin. Maalin sävyllä oli merkitystä ainoastaan UV-säteilyn kestävyystestissä, koska testissä seurattiin värinmuutosta ja läpilyöntiä. Läpilyönillä tarkoitetaan värjäävän aineen tai pigmentin vaeltamista maalikalvon pohjasta, jolloin maalipinta värjäytyy tai muuttuu kirjavaksi.

## 6.2 Nestemäisen maalin testit

Ennen testikappaleiden maalausta maaleista mitattiin kolme nestemäisen maalin perusominaisuutta: viskositeetti, pH ja ominaispaino. Viskositeetti mitattiin Brookfieldin -viskosimetrillä (kuva 10) ja ilmoitettiin yksiköllä KU (Krebs unit). pH mitattiin Mettler-Toledon pH-mittarilla ja ominaispaino määritettiin ominaispainokupilla (kuva 11).



Kuva 10. Viskosimetri perustilassa ja mittaustilanteessa.





Kuva 11. Ominaispainokuppi.

Edellä mainitut testit suoritettiin yhden vuorokauden kuluttua maalin valmistuksesta sävyttämättömille maaleille. Maalieristä purkitettiin myös varastointipurkit, joista ensimmäinen jätettiin huoneenlämpöön ja toinen laitettiin uuniin +40 °C lämpötilaan. Molemmista varastointipurkeista mitattiin pH ja viskositeetti 28 vuorokauden kuluttua maalin valmistuksesta.

### 6.3 Testimenetelmät alustalle ja applikoidulle maalille

Bitumisille kattonäytekappaleille suoritettiin valitut testit näitä koskevilla standarditestausten menetelmillä sekä muutamilla maaleja koskevilla standarditestausten menetelmillä. Bitumistandardeista poiketen näytekappaleet maalattiin kahteen kertaan yhdeksällä eri tutkittavalla maalilla. Toinen maalaus kerta suoritettiin 24 tunnin kuluttua ensimmäisestä maalauksesta ja tämän jälkeen maalin annettiin kuivua vähintään 14 vuorokautta ennen testausta.

#### 6.3.1 Vetolujuus ja venymä huoneenlämpötilassa

Vetolujuus ja venymä määritettiin standardeja SFS 5011 ja EN 12311-1 mukaillen. Vetokokeita varten leikattiin kolme kappaletta  $50 \pm 1$  mm levyistä ja noin 300 mm pituista näytekappaletta jokaista maalierää kohden. Koe suoritettiin myös kolmelle maalaamattomalle näytekappaleelle, jotka merkittiin 0-koekappaleiksi. [20; 21]



Kuva 12. Maalaamaton koekappale vetolaitteessa.

Vetokokeessa koepala kiinnitettiin vetolaitteen leukoihin (kuva 12) siten, että leukojen väliin jäävän osan pituudeksi tuli 200 mm. Vetonopeus asetettiin arvoon 40 mm/min, ja koe päättyi kun koepala katkesi. Vetolujuus kertoo maksimivoiman, jonka testattava kappale kestää ennen kuin se katkeaa. Koepalan katketessa vetoleukojen kohdalta tai luistaessa vetokokeen aikana, kokeen tulosta ei otettu huomioon. Vetolujuus ilmoitettiin kolmen kokeen keskiarvona 1 Newtonin tarkkuudella. Venymä ilmoitettiin prosentteina vetoleukojen väliin jääneestä alkuperäisestä pituudesta kolmen kokeen keskiarvona 0,1 %:n tarkkuudella. Tuloksiin merkittiin myös mahdolliset halkeamat pinnoitteessa ja alustan pinnassa. [20; 21]

### 6.3.2 UV-säteilyn kestävyys

UV-kestävyys suoritettiin EN 1297 - ja EN 11507 -standardien yhdistelmänä. Koekappaleiksi leikattiin mitoiltaan 75 mm x 150 mm palat kahdella eri sirotteella, mustalla ja punaisella olevista Plano-kattolaatoista. Maalaus suoritettiin näille molemmille alustoille punaiseksi ja valkoiseksi sävytetyillä maaleilla. [22; 23]

Yhden syklin pituudeksi Q-labin QUV-sääkaapissa (kuva 13) asetettiin 360 minuuttia. Syklistä 300 minuuttia oli kuivaa jaksoa ja 60 minuuttia veden suihkutusta eli märkää jaksoa, jolloin UV-valo oli pois päältä. Testissä käytettiin valonlähteenä UVA-lamppuja ( $\lambda = 340$ ), jotka jäljittelevät pitkäaaltoista UV-säteilyä. Testi koostui yhteensä 120 syklistä. Huoneenlämpöön jätettiin koepalojen referenssikappaleet. Sääkaappiin laitettiin 7 vuorokaudeksi myös molemman värisillä sirotteilla olevat maalaamattomat kattolaattakappaleet. [22; 23]



Kuva 13. QUV-sääkaappi.

Koepalat tarkastettiin murtumien ja halkeamien varalta standardin EN 1297 mukaisesti 60 syklin jälkeen ja ilmoitettiin, kestäkö alusta 60 sykliä. Tässä työssä seurattiin myös pinnoitteen käyttäytymistä, mahdollista läpilyöntiä ja värin muutosta. Testiä jatkettiin toisella 60 syklillä, jonka jälkeen referensseille sekä sääkaapissa vanhenneetuille koekappaleille suoritettiin värimittaus Minoltan spektrofotometrillä päivänvalossa. Väri mitattiin viidestä eri kohdasta. Testin lopuksi valkoisella maalatuista kappaleista arvioitiin

myös silmämääräisesti läpilyöntiä asteikolla 0-10. Jos läpilyöntiä ei esiintynyt, merkittiin tulokseksi 0, ja mitä enemmän läpilyöntiä esiintyi, sitä suurempi arvo merkittiin tulokseen. [22; 23]

### 6.3.3 Vedenläpäisevyys

Koe suoritettiin maaleja ja lakkoja koskevan standardin EN 1062-3 mukaisesti. Alustana käytettiin huokoisia kalkkikivitiiliä, jotka olivat kooltaan vähintään 200 cm<sup>2</sup> ja 2,5 cm:n paksuisia, kuten standardissa on määritelty. Koetta varten valmistettiin standardista poiketen kolmen rinnakkaisen sijaan kaksi rinnakkaista näytekappaletta jokaista maalia kohden sekä 0-kokeet, joihin ei applikoitu maalia. [24]

Tiilen sivut ja testipinnan vastapuoli käsiteltiin vedenkestäviksi kahteen kertaan epoksi-pinnoitteella. Testipinta maalattiin kahteen kertaan testattavalla maalierällä. Tämän jälkeen myös näytepinnan reunat pinnoitettiin vedenkestäviksi noin 0,5–1 cm:n leveydeltä. [24]

Maalattua tiiltä vakioitiin kolmen syklin ajan. Sykli koostui seuraavasti; 24 tuntia vesialtaassa ja 24 tuntia uunissa ( $50 \pm 2$ ) °C. Viimeisen syklin jälkeen tiiltä vakioitiin 24 tuntia huoneenlämpötilassa ennen varsinaisen kokeen alkua. Näytetiili punnittiin lähimpään 0,1 grammaan ja asetettiin testipinta alaspäin ritilälle vettä sisältävään astiaan kuten kuvassa 14. Näytepinnan oli oltava 5–10 mm nestepinnan alapuolella. [24]



Kuva 14. Näytetiiliä vesialtaassa.

Punnitusta varten tiili nostettiin pois, kuivattiin kevyesti paperilla ja punnittiin 0,1 g:n tarkkuudella. Punnitus suoritettiin ensimmäisen upotuksen jälkeen 10 minuutin, 30 minuutin, 1 tunnin, 2 tunnin, 3 tunnin, 6 tunnin ja 24 tunnin kohdalla. Veden imeytymiskerroin laskettiin käyttämällä seuraavaa kaavaa

$$w = \frac{\Delta m}{A \times \sqrt{h}}$$

$w$  on vedenimeytymiskerroin ( $\text{kg}/(\text{m}^2 \times \text{h}^{0.5})$ )

$\Delta m$  on massan lisäys (kg)

$A$  on maalattu testipinta, jossa ei ole epoksia ( $\text{m}^2$ )

$h$  on testiaika (h). [24]

#### 6.3.4 Taivutettavuus

Koe suoritettiin standardia SFS 5011 mukailleen. Jokaista maalierää kohden leikattiin neljä mitoiltaan 50 mm × 200 mm olevaa rinnakkaista koepalaa tuotteen pituussuuntaan. Kokeessa käytettiin taivutuskappaletta, jonka yksi sivu on pyöristetty 50 mm:n

säteellä. Neljästä koepalasta kaksi oli varakappaleita. Jos 50 mm:n säteisellä taivutuskappaleella ei olisi näkynyt muutoksia, koe olisi suoritettu näille lisäkoepaloille 25 mm:n säteen omaavalla taivutuskappaleella. [21]

Koepalaa ja taivutuskappaletta säilytettiin  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ssa vähintään kahden tunnin ajan ennen taivutusta. Taivutus suoritettiin heti pakastimesta oton jälkeen. Taivutuskappaleen pyöristetty sivu asetettiin koepalan keskikohtaan. Koepala taivutettiin taivutuskappaleen ympärille, jolloin koepalan oli pysyttävä kiinni taivutuskappaleessa 5 sekunnin ajan (kuva 15). Koekappaleesta arvioitiin silmämääräisesti bitumikatteen pintamassan ja maalin halkeilua. [21]



Kuva 15. A-maalilla maalattu koekappale taivutettuna taivutuskappaleen ympärille.

#### 6.3.5 Hilaristikkokoe

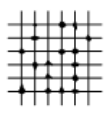
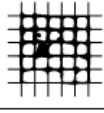
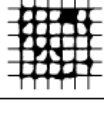
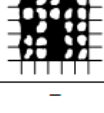
Hilaristikkokoe suoritettiin mukaillen ISO 2409 -standardia, koska alustana toimiva koelvy ei ollut standardin mukainen. Koe tehtiin sekä QUV-sääkaapissa vanhennetuille koekappaleille että referensseille. [25]

Kokeessa käytettiin yksi- ja moniteräistä leikkuria. Pinnoitteeseen viillettiin alustaan saakka tunkeutuva suorakulmainen ristikko, jossa urat ovat 2 mm:n välein sekä x:n



malliset viillot. Irtonainen materiaali harjattiin pois pehmeällä harjalla. Tämän jälkeen ristikon päälle asetettiin teippi jommankumman urasarjan suuntaisesti ja x-viillon päälle jommankumman viillon suuntaisesti. Paineltiin sormella hyvän teipin ja pinnoitteen kosketuspinnan varmistamiseksi. Teippi irrotettiin toisesta päästä tasaisesti vetäen mahdollisimman lähellä 60 asteen kulmaa. Tulokset ilmoitettiin taulukon 5 mukaisesti, kuten standardissa on määritelty. [25]

Taulukko 5. Hilaristikkokokeen tulosten luokittelu. [25]

Luokitus	Kuvaus	Ulkonäkö leikkausalueella, josta hilseilyä on tapahtunut (Esimerkki kuudelle rinnakkaisleikkaukselle)
0	Leikkausurien reunat ovat täysin sileät, yksikään ristikon ruuduista ei ole irronnut	—
1	Pientä hilseilyä urien leikkauspisteissä. Leikkausristikon alueesta korkeintaan 5 % on vaurioitunut	
2	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta tai urien leikkauspisteissä. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut enemmän kuin 5 % mutta ei enempää kuin 15 %	
3	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta osittain tai kokonaan suurina kaistaleina tai on hilseillyt osittain tai kokonaan ruutujen eri osista. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut enemmän kuin 15 % mutta ei enempää kuin 35 %	
4	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta osittain tai kokonaan suurina kaistaleina tai joitain ruutuja on irronnut osittain tai kokonaan. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut enemmän kuin 35 % mutta ei enempää kuin 65 %	
5	Mikä tahansa hilseily, jota ei voida luokitella edes luokitteluasteen 4 mukaisesti	—

## 7 Tulokset ja tulosten tarkastelua

### 7.1 Nestemäisen maalin testit

Maalien viskositeettirajoiksi asetettiin 100–110 KU. Maalien valmistuksessa B-, C-, E-, G- ja I-maalien viskositeetit jäivät viskositeettirajan alapuolelle niiden sideaineiden alhaisen viskositeetin takia. Nämä viisi paksunnettiin rajoihin paksuntajalla. Paksuntamiseen käytettyä raaka-ainetta lisättiin huomattavasti vähemmän kuin sitä käytetään normaaliolosuhteissa, koska paksuntaja toimi odotettua tehokkaammin. Viskositeettitulokset ja paksuntajalisäykset massaprosentteina on taulukossa 6.

Taulukko 6. Viskositeettitulokset.

Maali- kaava	KU 1 vrk	Paksuntajan lisäys	KU lisäyksen jälkeen	KU 28 vrk	KU 28 vrk +40 °C
A	102,4	-	-	102	100,8
B	88,7	0,45 m-%	100,4	101,8	96,3
C	84,5	0,36 m-%	108,6	109	110,6
D	106,6	-	-	107	-
E	73,4	0,60 m-%	108,6	112,5	-
F	103,7	-	-	102,6	95,9
G	94,1	0,08 m-%	106,7	109	102,2
H	103,0	-	-	102,6	99,8
I	98,2	0,08 m-%	107,6	110,8	108,6

D- ja E-maalien kuukauden uunissa olleiden varastointipurkkien sisällöt jähmettyivät käyttökelvottomiksi. Tästä johtuen näistä ei pystytty mittaamaan viskositeettia eikä pH:ta 28 vuorokauden uunissa olon jälkeen (taulukot 6 ja 7). Epäilyksenä on, että näihin vaikuttivat maaleissa käytetyt sideaineet alkydi ja polyuretaanidispersio (taulukko 3). Sävyttämättömän D-maalin pinta kellertyi huoneenlämmössä viikon jälkeen, minkä aiheuttajana oli luultavasti myös alkydi. E-maalissa taas kiintoainepartikkelit painuivat purkissa pohjalle toisin kuin muissa versioissa.



Taulukko 7. pH-tulokset.

Maalikaava	pH		
	1 vrk	28 vrk	28 vrk +40 °C
A	9,27	8,82	8,53
B	8,63	8,17	7,87
C	9,05	8,57	8,45
D	8,84	8,56	-
E	9,24	8,36	-
F	8,88	8,84	8,37
G	9,39	9,24	9,00
H	8,06	8,48	9,14
I	8,63	8,54	8,22

Vuorokauden jälkeen maalin valmistuksesta ainoastaan H-maalin pH jäi hieman tavoiterajojen 8,5–9,5 ulkopuolelle. H on myös sarjan ainoa maali, jonka pH nousi ajan kuluessa molemmissa varastointipurkeissa.

Ominaispainoissa esiintyi pieniä eroavaisuuksia ja ne taulukoitu liitteeseen 2.

## 7.2 Vetolujuus ja venymä

Vetokokeessa yksi näytekappale C-maalin koesarjassa katkesi vetoleukojen kohdalta ja tulos jätettiin huomioimatta. I-maalin koesarjan kolmas veto antoi venymän tulokseksi yli 70 %, joka on lähes kaksinkertainen muihin tuloksiin verrattuna. Tämän tuloksen todettiin olevan epäluotettava, joten myös sen vetokoe jätettiin pois tuloksista. Kaikki vetokokeiden tulokset löytyvät liitteen 3 taulukoista.

Taulukossa 8 on esitetty vetokokeen tulosten keskiarvot. Saadut tulokset ovat likimain samansuuruisia. Maalatuista koekappaleista E-maali sai pienimmät tulokset, koska se teki alustasta muita jäykemmän. Se oli myös ainoa testattava, jossa esiintyi halkeilua. Maalaamattomat koekappaleet eli 0-kokeet saivat lähes samansuuruisen keskiarvon E-maalin kanssa, joka oli muita heikompi. Tässä tutkimuksessa koekappaleiden maalaamisen voidaan siis sanoa kasvattavan bitumikatteen murtolujuutta ja venyvyyttä. Maalit B ja G saivat molempia tuloksia katsottaessa suurimmat keskiarvot. B-maalin sideaineella on matalampi lasittumislämpötila, joka kasvattaa maalipinnan elastisuutta. G-maalin täyteaine wollastoniitti kestää paremmin sen neulamaisen rakenteen vuoksi.

Taulukko 8. Vetokokeen vetolujuustulosten ja venymien keskiarvot.

	Vetolujuus	Venymä
Maalikaava	Keskiarvo (N)	Keskiarvo (%)
0	763	35,9
A	780	39,8
B	850	45,1
C	775	39,3
D	857	39,8
E	763*	35,1*
F	830	41,8
G	893	43,3
H	787	40,2
I	823	43,2

\*Pinnoitteeseen ja pintamassaan syntyi halkeamia testin aikana.

### 7.3 UV-säteilyn kestävyys

Sääkaapissa olleista valkoiseksi maalatuista koekappaleista ja referensseistä seurattiin läpilyöntiä. Läpilyönti ilmeni maalipinnan kellastumisena sekä ruskeina pisteinä. Punaisen sirotteen referenssikappaleista kolmessa esiintyi läpilyöntiä jo kahden viikon kuivumisen jälkeen huoneenlämpötilassa. Nämä olivat maalien B, C ja D referenssit.

Taulukko 9. Valkoiseksi maalattujen koekappaleiden arvioinnit sääkaappikokeen jälkeen. Arviointiasteikko 0–10, 0=ei läpilyöntiä ja 10=paljon läpilyöntiä.

Sirote	Musta		Punainen	
	Referenssi	Vanhennettu	Referenssi	Vanhennettu
A	0	2	1	6
B	1	7	5	9
C	1	8	5	10
D	1	5	5	7
E	0	4	1	7
F	0	3	1	6
G	0	1	1	6
H	0	3	1	7
I	0	2	1	5

Koepalojen sirotteen värillä huomattiin olevan merkittävä vaikutus läpilyönnin suhteen, kuten taulukosta 9 nähdään. Punaisen sirotteen referensseillä sekä vanhennetuilla koepaloilla esiintyi huomattavasti enemmän läpilyöntiä kuin mustan sirotteen koepaloilla. Sirotteen väriaineella voi olla pientä vaikutusta läpilyöntiin, mutta epäilyksenä on, että bitumi aiheuttaa sitä voimakkaammin. Kuvasta 16 huomataan sirotepartikkelien olevan erimuotoisia ja -kokoisia. Tämä voi olla mahdollinen selitys läpilyönnin määrän eroavaisuuteen eri siroteella olevilla alustoilla. Pienemmät mustat partikkelit pakkaantuvat bitumin pinnalle tiiviimmin, jolloin bitumia ei pääse tihkumaan läpi yhtä paljon kuin punaisella siroteella.



Kuva 16. Plano-kattolaatoista leikatut koepalat mustalla ja punaisella siroteella.

Myös maalaamattomien koekappaleiden välille syntyi eroavaisuutta sääkaappikoestuksessa. Koekappaleet arvioitiin referensseihin verraten silmämääräisesti. Mustan sirotteen vanhentuneen kattolaatan sirote ei menettänyt väriä verratessa referenssiin. Punaisen sirotteen punaiset sirotepartikkelit menettivät väriä sääkaapissa toisin kuin referenssi. Vertailu on nähtävissä kuvassa 17.



Kuva 17. Maalaamattomat koekappaleet, yläpuolella referenssit ja alapuolella sääkaapissa vanhenneet koekappaleet.

Taulukosta 9 ilmenee, että UV-säteilyn kestävyystestissä heikoimmin pärjäsivät maalit B ja C. C-maalissa sideaineena käytetyn akrylaatin säänkestävyyden pitäisi olla erinomainen, mutta bitumi läpäisee maalikalvon aiheuttaen värimuutosta. Sama havainto pätee B-maalilla maalatuissa koekappaleissa. Parhaimmat tulokset saatiin aikaan maaleilla A, G ja I, joiden värimuutokset jäivät vähäisimmiksi.



Kuva 18. Sääkappikokeen koekappaleet mustalla alustalla ja valkoisella maalilla, ylärivissä referenssit A–I vasemmalta oikealle.

Valkoisella maalatuissa koekappaleissa voidaan huomata läpilyönnin aiheuttamaa värimuutosta kuvista 18 ja 19. Kuvista pystyy myös erottamaan selkeästi heikoiten pärjänneet maalit B ja C.



Kuva 19. Sääkappikokeen koekappaleet punaisella alustalla ja valkoisella maalilla, ylärivissä referenssit A–I vasemmalta oikealle.

Alustan epätasaisuuden sekä maalipinnan epätasaisen värin muutoksen takia väri mitattiin viidestä kohdasta. Näiden kesiarvoista laskettiin värinmuutos referenssille ja vanhennetulle koekappaleelle. Liitteeseen 4 on kirjattu värimittauksen tulokset. Tulosten voidaan todeta olevan suoraan suhteessa läpilyöntiseurannasta saatuihin tuloksiin. B- ja C-maalit pärjäsivät niin valkoisella kuin punaisellakin maalilla värimittauksessa heikoiten. Pienimmät muutokset syntyivät G-maalilla maalatuille koekappaleille.



Kuva 20. Sääkappikokeen koekappaleet mustalla alustalla ja punaisella maalilla, ylärivissä referenssit A–I vasemmalta oikealle.

Punaisella maalilla maalatuista koekappaleista pystyttiin erottamaan silmämääräisesti pieniä värieroja, joita voi havaita kuvista 20 ja 21, mutta luotettavat tulokset saatiin



käyttämällä värimittaria. Värimittauksen tulosten perusteella värinmuutosta ei tapahdu yhtä voimakkaasti punaisella maalilla maalatuissa koekappaleissa kuin valkoisella maalatuissa.



Kuva 21. Sääkappikokeen koekappaleet punaisella alustalla ja punaisella maalilla, ylärivissä referenssit A–I vasemmalta oikealle.

Bitumikattokoekappaleissa ei esiintynyt 60 syklin jälkeen maalin alla murtumia tai halkeilua, joten alusta täytti sille standardissa määritetyn tason. Myöskään toisen 60 syklin jälkeen alustassa ei ollut havaittavissa muutoksia.

#### 7.4 Vedenläpäisevyys

Katoille tarkoitetut maalit ja pinnoitteet joutuvat kovalle säärasitukselle ja on tarkoitettu kestämaan suurta vesikuormitusta. Tämän takia näiden olisi hyvä kuulua vedenläpäisevyyden pienimpään luokkaan eli  $W_3$ -luokkaan, joka on määritelty standardissa EN 1062-1. Luokat ja niiden vaatimukset ovat kuvattu taulukossa 10.

Taulukko 10. Vedenläpäisevyyden luokat. [26]

Luokka		Vaatus $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$
$W_0$		Ei vaatimusta
$W_1$	Suuri	$> 0,5$
$W_2$	Keskisuuri	$\leq 0,5$ $> 0,1$
$W_3$	Pieni	$\leq 0,1$

Kaikki tuloksista lasketut vedenläpäisevyyskertoimet ovat pienempiä kuin  $0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \times \text{h}^{0,5})$  kuten taulukosta 11 voidaan todeta, joten valmistetut maalit täyttävät niille asetetun vaatimustason.

Taulukko 11. Vedenläpäisevyyskokeesta lasketut vedenimeytymiskertoimien keskiarvot.

Maalikaava	Vedenimeytymiskerroin $w/(\text{kg}/\text{m}^2 \times \text{h}^{0,5})$
A	0,0254
B	0,0620
C	0,0362
D	0,0059
E	0,0306
F	0,0077
G	0,0070
H	0,0080
I	0,0108

Maalien välillä tosin voidaan huomata vaihtelua samoin kuin muutamissa rinnakkaiskokeissa. Rinnakkaiskokeiden väliset suuret erot (liite 5), kuten A- ja B-maaleilla, voidaan selittää sillä, ettei maalipinta ole ollut täysin tiivis ja peittävä. D-, F-, G- ja H-maaleilla saatiin aikaan parhaimmat tulokset. G- ja H-maalien hyvä tulos selittyy niiden täyteaineilla, koska wollastoniitti ja lasipallot pakkaantuvat tasaisemmin maalin sisällä synnyttäen tiiviimmän maalipinnan.

## 7.5 Taivutettavuus

Taivutettavuuskokeessa maalit B, C ja H pärjäsivät parhaiten (taulukko 12). B- ja C-maalien sideaineiden  $T_g$ :t eli lasittumislämpötilat ovat alle  $-20 \text{ °C}$ , mikä voi olla yksi osatekijä sille, miksi nämä maalit toimivat testissä erinomaisesti. Kun  $T_g$  on pienempi kuin se lämpötila missä maalia käytetään, maalipinta jää pehmeämmäksi ja näin ollen myös elastiseksi [3 s. 45]. H-maalin hyvään tulokseen vaikuttivat sen täyteaineena toimivat lasipallot. Lasipalloilla on pieni öljynabsorptio, jolloin sideainetta sitoutuu vähemmän täyteaineeseen ja maalipinnasta tulee elastisempi. Heikoin tulos tuli E-maalilla maalatuille koekappaleille mahdollisesti maalin nahoittumisen takia, koska nämä koe-

kappaleet olivat jäykempiä maalin takia. Liitteeseen 6 on kirjattu kaikki taivutettavuuskokeen tulokset.

Taulukko 12. Taivutettavuuskokeen tuloksien keskiarvot.

Maalikaava	Maalin ja alustan pinnan ulkonäkö taivutuksen jälkeen
A	Pieniä halkeamia maalipinnassa, myös massa halkeilee
B	Ei halkeilua
C	Ei halkeilua
D	Vähäistä halkeilua
E	Isoja halkeamia maalipinnassa ja massassa
F	Maalipinta ja massa halkeilevat, keskellä isompi halkeama
G	Maalipinta ja massa halkeilevat, keskellä isompi halkeama
H	Pieni halkeama maalipinnassa*
I	Maalipinta ja massa halkeilevat, keskellä isompi halkeama

\*Toisessa koekappaleessa ei esiintynyt halkeilua.

## 7.6 Hilaristikko

Hilaristikkokokeessa tulosten luokittelu osoittautui hieman haastavaksi, koska alusta ei ollut standardin mukainen. Alustan epätasaisuuden vuoksi moniteräisen leikkurin terät eivät viiltäneet maalipintaa tasaisesti. Punainen sirote on liuskemaista, minkä takia sillä olevan kattolaatan pinta on mustalla sirotteella olevaa tasaisempi. Tästä syystä hilaristikkotesti päädyttiin tekemään vain punaisella sirotteella oleville alustoille, jotka oli maalattu punaisella maalilla. Osasta koekappaleista irtosi jo viiltämisvaiheessa sirotetta terän osuessa sopivasti sirotepartikkeliin irrottaen myös maalipintaa. Tämä taas ei kuvaa sitä, saako tämänkaltaisen maalipinnan rasitus irrotettua mukanaan myös sirotetta bitumin pinnasta vai pelkästään maalipintaa. Liitteen 7 taulukosta huomataan, ettei tällä testillä syntynyt eroavaisuuksia maalien välille. Kaikki tulokset luokittuivat standardin luokkaan 1 (taulukko 5), koska maalipinnasta vaurioitui alle 5 % testialueesta, vaikka sirotepartikkeleita osasta irtosikin.



## 8 Huomioita

Alkuperäisissä maalikaavoissa talkkia ja micaa lisättiin massaltaan yhtä paljon täyteaineeksi kuin karbonaattia. Näiden maalien, F ja I, ensimmäiset erät paksunivat liikaa täyteaineen lisäysvaiheessa, jolloin dispergointi muuttui mahdottomaksi. Maalin koostumus muuttui laastimaiseksi, eikä sen rakennetta pystytty enää palauttamaan lopputaavan ohennelisäyksellä. Talkkia ja micaa jouduttiin laittamaan maaliin tilavuussuhteessa enemmän kuin karbonaattia niiden pienten ominaispainojen sekä korkeampien öljynabsorptioiden vuoksi. Näin ollen alkuperäisiin maalikaavoihin jouduttiin tekemään muutoksia. Talkin ja mican määrät vähennettiin 1/4 suunnitellusta ja loput 3/4 korvattiin karbonaatilla. Lopulliset maalit valmistettiin liitteen 1 maalikaavojen mukaisesti.

UV-säteilyn kestävyyskokeen aloitus lykkääntyi noin kolmella viikolla. Syynä tähän oli sääkaapin rikkoontunut virtausmittari, jonka takia vesi valui lattialle, kun venttiili avattiin veden suihkutusta varten. Myös sääkaapin lamppujen toiminnan kanssa esiintyi aluksi ongelmia.

Hilaristikkokokeessa ristikkoa tehdessä yksiteräinen leikkuri olisi ollut moniteräistä soveltuvampi käytetylle alustalle ja viiltänyt maalipintaa tasaisemmin. Tällä tavoin maalien välille olisi mahdollisesti voitu saada pientä eroa tässä testissä.

Vetokokeessa vetonopeus asetettiin 40 mm/min:ksi vanhan standardin mukaisesti, joka kuvaa ehkä paremmin maalatulle bitumille aiheutuvaa rasitusta. Uudessa standardissa vetonopeudeksi on ilmoitettu 100 mm/min. Jos vetokoe olisi tehty uudemman standardin mukaisesti, tuloksia olisi voinut verrata suoraan käytettyjen Icopal Oy:n bitumikattojen tuoteselosteissa annettuihin arvoihin.

Punaiseksi sävytetyn E-maalin korkeampi viskositeetti heikensi merkittävästi kuivan maalipinnan elastisuutta. Maali kuivui myös tummemmaksi ja mattapintaisemmaksi kuin muut maalit. Nämä vaikuttivat muutamiin testituloksiin tämän maalin kohdalla. Ei ole varmaa, vaikuttivatko maalin raaka-aineet vai mahdollisesti hieman avoinna ollut purkin kansi maalin nahoittumiseen. Tämän maalin tuloksia tulisi siis tarkastella hieman varauksella.

## 9 Yhteenveto ja johtopäätökset

Työn tavoitteena oli vertailla eri side- ja täyteaineiden ominaisuuksia bitumikattomaalikäytössä. Työssä tutkittiin myös, löytyisikö nykyiselle maalille mahdollisesti toimivampia, vaihtoehtoisia maalikaavoja. Tämän ohella selvitettiin ja kokeiltiin testimenetelmiä, jotka soveltuvat niin maalipinnan kuin maalattavan alustan testaukseen. Kokeellisessa osassa tutkittiin juoksevan maalin, kuivan maalipinnan ja bitumialustan muutoksia. Näin selvitettiin maalin vaikutusta myös bitumialustan ominaisuuksiin ja alustan vaikutusta applikoituun maalipintaan.

Testeissä löytyi monia eroavaisuuksia maalikaavojen välillä. Muutamat maalit erottuivat selkeästi muita heikompina ja jopa käyttökelvottomina. Toisaalta löydettiin myös potentiaalisia vaihtoehtoja, joilla maalin soveltuvuutta voitaisiin entisestään parantaa toimivammaksi bitumikatoille. Taulukossa 11 on karkeasti eritelty testikohtaisesti parhaimmat ja heikoimmat tulokset. Heikoimmat tulokset saaneet eivät lukeudu automaattisesti pois käyttökelpoisista vaihtoehdoista, koska tuloksia on verrattu keskenään, eivätkä ne välttämättä mene testikohtaisten tavoiterajojen ulkopuolelle.

Taulukko 13. Yhteenveto testituloksista. Testeissä parhaiten pärjänneet maalit on merkitty vihreällä ja heikoiten pärjänneet keltaisella. Tähdellä on merkitty testikappaleet, joissa käytetty maali oli nahoittunut.

Testi	A	B	C	D	E	F	G	H	I
28 vrk uunissa				x	x				
Vetokoe		x			x*		x		
Veden absorptio		x	x	x	x	x	x	x	
QUV	x	x	x				x		x
Taivutettavuus		x	x		x*			x	
Värimittaus									
Valkoinen maali									
-musta alusta		x	x		x	x	x		
-punainen alusta	x	x	x	x			x		
Punainen maali									
-musta alusta	x	x	x	x			x	x	
-punainen alusta		x	x	x			x		

Suurimmat muutokset tapahtuivat D- ja E-perusmaaleille, koska ne muuttuivat käyttökelvottomiksi uunissa 28 vuorokauden jälkeen. Maalien B ja C testien tulokset ovat

hieman ristiriitaisia. Molemmat pärjäsivät erinomaisesti taivutettavuustestissä, mutta olivat heikoimpia taas vedenläpäisevyydestä, värimittauksessa ja läpilyöntiä seurattaessa.

Kokonaisuudessa G- ja H-maalit näyttävät pärjänneen parhaiten koko sarjasta. G-maalilla ei ilmennyt vertailussa yhtään välttävää tulosta, jopa neljässä testissä se sijoitui parhaimpien joukkoon. H-maali pärjasi kiitettävästi kahdessa testissä. Värimittauksessa se asettui heikoiten pärjänneiden joukkoon, mutta tämän testin tulosta ei tule pitää esteenä lasipallojen käytölle täyteaineena, koska erot eivät ole niin suuria (liite 5).

Suosittelavaa olisi, että jatkokehityksessä sideaine olisi joko styreeniakrylaatti tai akrylaatti. Täyteainekäyttöön voisivat soveltua paremmin wollastoniitti tai lasipallot pelkän karbonaatin sijaan. A-maalin styreeniakrylaatti-sideainetta käytettäessä, wollastoniitilla ja lasipalloilla saavutettiin parempi elastisuus maalipinnalle kuin nykyisellä täyteaineella, karbonaatilla. G-maali pärjasi vetokokeessa hyvin, mutta taivutettavuudessa se oli hieman heikompi kuin nykyinen maalikaava A. H-maali taas menestyi taivutettavuustestissä sekä sai vetokokeesta A-maalista paremman tuloksen. Joten käyttämällä lasipalloja yksinään tai sekoituksena jonkun toisen täyteaineen kanssa maalipinnan elastisuutta pystyttäisiin todennäköisesti parantamaan.

B- ja C-maalien kaavojen styreeniakrylaatilla ja akrylaatilla saavutettiin myös huomattavasti elastisempi maalipinta nykyiseen kaavaan verrattuna, mutta maalikalvon vedenimukyky kasvoi. Joten näiden täyteaineina voitaisiin mahdollisesti myös testata wollastoniittia, lasipalloja tai niiden sekoitusta karbonaatin kanssa, koska näillä täyteaineilla on saavutettu pienempi vedenimukyky. Toisaalta maalien B ja C veden imeytymiskertoimet eivät ylitä sallittua rajaa, joten ne ovat siltä osin käyttökelpoisia työssä käytetyillä kaavoilla. B- ja C-maalien heikkoutena on runsaan läpilyönnin määrä erityisesti vaalealla sävytyksellä.

Työn tavoite saavutettiin kokoamalla uutta hyödyllistä tietoa side- ja täyteaineiden ominaisuuksista bitumikatemalauksessa. Tutkimustulokset ovat käyttökelpoisia jatkokehityksen tukena.

## Lähteet

- 1 Tikkurilan yritysesittely. 2013. Tikkurila Oyj.
- 2 Maalin raaka-aineet. Verkkodokumentti. Tikkurila Oyj.  
<[http://www.tikkurila.fi/ymparisto/maalin\\_elinkaari/maalin\\_raaka-aineet](http://www.tikkurila.fi/ymparisto/maalin_elinkaari/maalin_raaka-aineet)>. Luettu 25.2.2013.
- 3 Brock, T., Groteklaes, M., Mischke, P. 2010. European Coatings Handbook. Hannover: Vincentz Network.
- 4 Stoye, Dieter. 1993. Paints, Coatings and Solvents. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft.
- 5 Opulyn™ 301. Verkkodokumentti. The Dow Chemical Company.  
<<http://www.dow.com/products/tds/1010106/>>. Luettu 5.9.2013
- 6 Gysau, Detlef. 2006. Fillers for Paints. Hannover: Vincentz Network.
- 7 Raper, Stephen. 2012. Ground Calcium Carbonate versus Feldspathic Minerals. Paint & Coatings Industry Magazine, April 2012, s. 66–71.
- 8 Wolfe, Michael A. 2012. Calcium Metasilicate Maintains Performance, Minimizes Cost. Paint & Coatings Industry Magazine, May 2012, s. 40–46.
- 9 Silibeads® Type S. Verkkodokumentti. Sigmund Lindner. <<http://www.sigmund-lindner.com/en/products/silibeads-glass-beads/type-s.html>>. Luettu 27.5.2013.
- 10 Silibeads Glass beads Type S, Microglass beads – Product Data Sheet. 2011. Sigmund Lindner. V8/2011.
- 11 3M™ Glass Bubbles – Floated Product Series. 2008. 3M. 9/08.
- 12 Koleske, J., Springate, R. & Brezinski D. 2008. Additives Guide. Paint & Coatings Industry Magazine, June 2008, s. 38–122.
- 13 Dispersing process. Verkkodokumentti. InkLine.  
<<http://www.inkline.gr/inkjet/newtech/tech/dispersion/>>. Luettu 5.9.2013.
- 14 Tuoteseloste LiimaUltra. 2008. Icopal Oy. Versio 1.4.
- 15 Tuoteseloste Plano Natur. 2011. Icopal Oy. Versio 1.4.
- 16 Icopal Oy – Plano-kattolaatat. Verkkodokumentti. Kattomestarit.  
<<http://www.kattomestarit.com/plano.shtml>>. Luettu 11.6.2013.
- 17 Lesueur, Didier. 2009. The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification. Advances in Colloid and Interface Science 145, s. 42–82.

- 18 Yleiset ohjeet – Määritelmiä. Verkkodokumentti. Nordic Waterproofing Oy.  
<<http://www.kerabit.fi/suunnittelu-ja-asennusohjeet/suunnitteluohjeet/pihakannet/yleiset-ohjeet/maaritelmia>>. Luettu 3.7.2013.
- 19 Noxite – ilmaa puhdistavat bitumikatteet. Verkkodokumentti. Icopal Oy.  
<[http://www.icopal.fi/Tuotteet/Loivat%20katot/Noxite\\_tuotesivu.aspx](http://www.icopal.fi/Tuotteet/Loivat%20katot/Noxite_tuotesivu.aspx)>. Luettu 10.12.2012.
- 20 SFS-EN 12311-1. Vedeneristyskermit. 2000. Osa 1: Kattojen bitumiset vedeneristyskermit. Vetolujuusominaisuuksien määrittäminen. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.
- 21 SFS 5011. Bitumi- ja kumibitumikermat. 1985. Testausmenetelmät. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.
- 22 SFS-EN 1297. Flexible sheets for waterproofing. 2004. Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing. Method of artificial ageing by long term exposure to the combination of UV radiation, elevated temperature and water. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.
- 23 SFS-EN ISO 11507. Paints and varnishes. 2007 Exposure of coatings to artificial weathering. Exposure to fluorescent UV lamps and water. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.
- 24 SFS-EN 1062-3. Paints and varnishes. 2008. Coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete. Part 3: Determination of liquid water permeability. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.
- 25 SFS-EN ISO 2409. Maalit ja lakat. 2008 Hilaristikkokoe. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.
- 26 SFS EN 1062-1. Maalit ja lakat. 2004. Pinnoiteaineet ja -yhdistelmät säärasitukseen joutuville kiviaines- ja betonipinnoille. Osa 1: Luokittelu. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.

**Maalikaavat**

Maalikaavojen A–I sisällöt massaprosentteina.

Maalikaava	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Vesi	23								
Paksuntajat	0,5								
Pinta-aktiiviset aineet	1								
Biosidit	1								
Liuottimet	4								
Karbonaatti	30	30	30	30	30	22,5	-	-	22,5
Talkki	-	-	-	-	-	7,5	-	-	-
Wollastoniitti	-	-	-	-	-	-	30	-	-
Lasipallot	-	-	-	-	-	-	-	30	-
Mica	-	-	-	-	-	-	-	-	7,5
Styreeniakrylaatti 1	40	-	-	35	20	40	40	40	40
Styreeniakrylaatti 2	-	33,5	-	-	-	-	-	-	-
Arkylaatti	-	-	36,5	-	-	-	-	-	-
Alkydi	-	-	-	5	-	-	-	-	-
Polyuretaanidispersio	-	-	-	-	20	-	-	-	-

**Viskositeetti-, pH- ja ominaispainotulokset**

## Viskositeettitulokset

Maali- kaava	KU 1 vrk	Paksuntajan lisäys	KU lisäyksen jälkeen	KU 28 vrk	KU 28 vrk +40 °C
A	102,4	-	-	102	100,8
B	88,7	0,45 %	100,4	101,8	96,3
C	84,5	0,36 %	108,6	109	110,6
D	106,6	-	-	107	-
E	73,4	0,60 %	108,6	112,5	-
F	103,7	-	-	102,6	95,9
G	94,1	0,08 %	106,7	109	102,2
H	103,0	-	-	102,6	99,8
I	98,2	0,08 %	107,6	110,8	108,6

## pH-tulokset

Maalikaava	pH		
	1 vrk	28 vrk	28 vrk +40 °C
A	9,27	8,82	8,53
B	8,63	8,17	7,87
C	9,05	8,57	8,45
D	8,84	8,56	-
E	9,24	8,36	-
F	8,88	8,84	8,37
G	9,39	9,24	9,00
H	8,06	8,48	9,14
I	8,63	8,54	8,22

Ominaispainotulokset

Maalikaava	Ominaispaino (kg/l)
A	1,25
B	1,27
C	1,25
D	1,24
E	1,21
F	1,25
G	1,24
H	1,19
I	1,24



## Vetokokeen tulokset

Vetolujuustulokset, jotka on ilmoitettu Newtonina eli voimana, joka tarvittiin katkaistaan koepala.

Maalikaava	1. veto (N)	2. veto (N)	3. veto (N)	Keskiarvo (N)
O	790	800	700	763
A	730	810	800	780
B	870	840	840	850
C	820	730	-	775
D	830	770	970	857
E	790*	730*	770*	763
F	830	800	860	830
G	850	910	920	893
H	770	800	790	787
I	750	900	-	823

Venymätulokset, jotka ovat ilmoitettu venymänä prosentteina.

Maalikaava	1. veto (%)	2. veto (%)	3. veto (%)	Keskiarvo (%)
O	37,0	37,5	33,3	35,9
A	38,0	40,0	41,5	39,8
B	46,0	48,2	41,0	45,1
C	41,8	36,7	-	39,3
D	40,6	36,5	42,3	39,8
E	34,7*	33,1*	37,4*	35,1
F	44,6	41,2	39,5	41,8
G	44,5	41,4	44,1	43,3
H	41,5	38,0	41,0	40,2
I	37,8	48,5	-	43,2

\*Pinnoitteeseen ja pintamassaan syntyi halkeamia testin aikan

## Värimittauksen tulokset

Valkoinen maali mustalla alustalla.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
dL	-3,11	-4,64	-5,93	-1,95	-2,12	-2,84	-1,41	-2,91	-3,12
da	-0,35	1,34	1,54	-0,05	-0,10	-0,25	-0,29	-0,34	-0,25
db	3,16	6,05	9,32	3,75	2,61	4,54	2,55	3,91	3,25
dE CIE	4,45	7,74	11,16	4,23	3,37	5,36	2,93	4,88	4,51
dE CMC	4,65	8,21	12,73	5,27	3,73	6,39	3,61	5,54	4,81

Valkoinen maali punaisella alustalla.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
dL	-3,65	-5,30	-7,66	-3,25	-2,12	-2,43	-2,54	-2,61	-2,47
da	0,70	2,41	3,00	0,71	0,44	0,46	0,35	0,47	0,44
db	4,02	3,57	8,30	2,97	3,87	3,10	3,02	3,51	4,03
dE CIE	5,48	6,83	11,68	4,46	4,44	3,96	3,96	4,40	4,75
dE CMC	5,93	5,44	10,41	4,08	5,51	4,45	4,43	5,03	5,74

Punainen maali mustalla alustalla.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
dL	-1,25	-0,02	-0,39	-0,60	-0,28	-0,10	-0,28	-1,35	0,96
da	-0,99	-1,91	-1,81	0,24	-0,13	-1,55	-1,07	-1,74	-1,37
db	0,99	0,61	0,72	0,76	1,30	-0,16	0,39	0,69	-0,44
dE CIE	1,87	2,00	1,98	1,00	1,34	1,57	1,17	2,31	1,73
dE CMC	1,74	1,66	1,70	0,81	1,27	1,02	1,00	2,03	1,16

Punainen maali punaisella alustalla.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
dL	-0,47	-0,73	-0,72	-0,53	0,01	0,98	0,31	0,54	1,23
da	-0,58	-1,35	-1,26	0,03	-0,46	-1,45	-0,58	-0,96	-1,12
db	0,98	1,17	0,84	0,70	1,27	-0,19	0,52	0,86	-0,33
dE CIE	1,23	1,93	1,67	0,88	1,35	1,76	0,84	1,40	1,70
dE CMC	1,23	1,83	1,52	0,77	1,36	1,24	0,80	1,36	1,22

dL = vaaleuspoikkeama,

+ = vaaleampi

- = tummempi

da = puna-vihreäpoikkeama,

+ = punaisempi

- = vihreämpi

db = kelta-sininenpoikkeama,

+ = keltaisempi

- = sinisempi

dE = kokonaispoikkeama

CMC = kuvaa silmällä nähtävää värieroa

CIE = koneen laskema väriero

## Vedenläpäisevyyskokeen tulokset

Rinnakkaiskokeet on ilmoitettu samalla maalikaavan kirjaimella ja eri numerolla, esimerkiksi rinnakkaiskokeet A1 ja A2. Taulukkoon merkityillä ajanhetkillä on mitattu massa, joka on ilmoitettu grammoina.

	0 min	10 min	30 min	1 h	2 h	3 h	6 h	24 h	Vedenimeytymis- kerroin $w/(kg/m^2 \times h^{0,5})$
A1	2394,8	2395,0	2395,0	2395,2	2395,2	2395,6	2395,4	2396,2	0,0097
A2	2281,3	2281,5	2281,7	2281,9	2282,3	2282,4	2283,1	2287,2	0,0411
B1	2251,7	2252,1	2252,3	2252,4	2252,8	2253,2	2254,2	2263,5	0,0821
B2	2262,4	2262,7	2262,8	2263,0	2263,4	2263,5	2264,1	2268,4	0,0418
C1	2444,5	2444,9	2445,1	2445,2	2445,4	2445,6	2446,3	2450,4	0,0411
C2	2245,3	2245,8	2245,8	2245,9	2246,1	2246,3	2246,9	2249,8	0,0313
D1	2322,5	2322,8	2322,8	2322,8	2322,8	2322,8	2322,9	2323,3	0,0056
D2	2298,0	2298,2	2298,3	2298,4	2298,4	2298,4	2298,4	2298,9	0,0063
E1	2330,6	2330,9	2330,9	2331,2	2331,2	2331,4	2331,8	2335,0	0,0306
E2	2255,2	2255,4	2255,5	2255,7	2255,7	2256,0	2256,4	2259,6	0,0306
F1	2274,9	2275,2	2275,2	2275,2	2275,2	2275,2	2275,4	2276,0	0,0077
F2	2298,6	2298,8	2298,9	2298,9	2298,9	2299,0	2299,1	2299,7	0,0077
G1	2361,0	2361,2	2361,3	2361,4	2361,4	2361,4	2361,6	2362,1	0,0077
G2	2244,5	2244,7	2244,7	2244,7	2244,8	2244,9	2244,9	2245,4	0,0063
H1	2249,4	2249,7	2249,9	2249,9	2249,9	2250,0	2250,0	2250,6	0,0084
H2	2287,8	2288,1	2288,2	2288,2	2288,3	2288,3	2288,4	2288,9	0,0077
I1	2364,9	2365,0	2365,1	2365,2	2365,4	2365,4	2365,5	2366,4	0,0104
I2	2388,0	2388,4	2388,5	2388,5	2388,6	2388,7	2388,8	2389,6	0,0111

**Taivutettavuuskokeen tulokset**

Rinnakkaiskokeet on ilmoitettu samalla maalikaavan kirjaimella ja 1 tai 2, esimerkiksi A1 ja A2.

Maalikaava	Maalin ja alustan pinnan ulkonäkö taivutuksen jälkeen
A1	Pieniä halkeamia maalipinnassa, myös massa halkeilee
A2	Pieniä halkeamia maalipinnassa, myös massa halkeilee
B1	Ei halkeilua
B2	Ei halkeilua
C1	Ei halkeilua
C2	Ei halkeilua
D1	Vähäistä halkeilua
D2	Vähäistä halkeilua
E1	Isoja halkeamia maalipinnassa ja massassa
E2	Isoja halkeamia maalipinnassa ja massassa
F1	Maalipinta ja massa halkeilivat, keskellä isompi halkeama
F2	Maalipinta ja massa halkeilivat, keskellä isompi halkeama
G1	Maalipinta ja massa halkeilivat, keskellä isompi halkeama
G2	Maalipinta ja massa halkeilivat, keskellä isompi halkeama
H1	Ei halkeilua
H2	Pieni halkeama maalipinnassa
I1	Maalipinta ja massa halkeilivat, keskellä isompi halkeama
I2	Maalipinta ja massa halkeilivat, keskellä isompi halkeama

## Hilaristikkokokeen tulokset

Sääkaappikokeiden punaisen sirotteen koekappaleille, vanhennetuille ja referensseille, jotka oli maalattu punaisella maalilla, tehtiin myös hilaristikkokoe. Molempiin vanhennettuihin ja referensseihin tehtiin X:n malliset ja 2 mm:n ristikkoviillot. Tulokset on luokiteltu taulukon 5 mukaisesti.

Maalikaava	Referenssi		Vanhennettu	
	X	Ristikko, 2 mm	X	Ristikko, 2 mm
A	1	1	1	1
B	1	1	1	1
C	1	1	1	1
D	1	1	1	1
E	1	1	1	1
F	1	1	1	1
G	1	1	1	1
H	1	1	1	1
I	1	1	1	1